

AGREGADOS PETREOS: BASALTOS Y RIOLITAS

Maiza, P. J^{1*} y Marfil, S. A.²

1. Inv. Principal CONICET. * Prof. Dpto. de Geología – Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. 8000 B. Bca. TE 0291-4595184. FAX 0291-4595148. email: pmaiza@uns.edu.ar.
2. Inv. Independiente CIC. Prof. Dpto. de Geología – UNS. email: smarfil@criba.edu.ar

RESUMEN

Rocas volcánicas tanto de composición basáltica como riolítica son utilizadas frecuentemente como agregado grueso en hormigón.

Afloramientos de estos tipos de rocas existen en distintas regiones, por lo que deben ser considerados como materiales de uso potencial. Además su presencia es muy frecuente como constituyentes de arenas y cantos rodados.

Por sus propiedades físicas y mecánicas, son materiales aptos para uso en hormigón. Sin embargo, en obras ingenieriles tales como autopistas, aeropuertos y represas, construidos en especial con agregados basálticos, se han detectado importantes daños, debido al desarrollo de reacciones deletéreas, principalmente RAS.

Estudios petrográficos realizados a estos tipos de roca han permitido determinar un comportamiento diferencial, dependiendo de la textura, presencia de minerales lábiles, principalmente vidrio volcánico tanto fresco como alterado, sílice criptocristalina y arcillas expansivas.

El propósito del presente trabajo es estudiar la factibilidad de uso de rocas volcánicas de composición riolítica y basáltica como agregados para hormigón.

Se trabajó sobre muestras de afloramientos provenientes de diferentes regiones del país.

Se estudió la textura, grado de alteración, presencia de vidrio en la pasta y otras características que inducirán a un comportamiento deletéreo. Se utilizó difracción de rayos X para la identificación de minerales de alteración y los productos de reacción.

Se concluyó que las rocas volcánicas, cuando constituyen una parte importante de los agregados para hormigón, deben ser estudiadas previamente en detalle ya que la presencia de vidrio fresco, minerales lábiles y/o alteración, pueden desarrollar reacciones deletéreas, mientras que cuando la textura es microcristalina y su estado de alteración incipiente, pueden ser usadas adecuadamente. Las rocas basálticas alteradas desarrollan importantes procesos de argilización generando especies mineralógicas dañinas que contribuyen al deterioro del hormigón ya sea por sus aportes iónicos o su expansibilidad.

PALABRAS CLAVE: agregados – riolitas - basaltos

ABSTRACT

Volcanic rocks, both of basaltic and rhyolitic composition, are frequently used as coarse aggregates in concrete.

There are outcrops of this type of rock in different regions and thus the potential use of these materials should be considered. Furthermore, they are usually present as sand and gravel constituents.

Due to their physical and mechanical characteristics, these materials are suitable for concrete elaboration. However, in important engineering works such as highways, airports, and dams, which were built mainly with basaltic aggregates, major damage has been found due to the development of deleterious reactions, especially the alkali-silica reaction (ASR).

Petrographic studies performed on these rocks have allowed identifying different behavior

depending on their texture, the presence of labile minerals, mainly volcanic glass, both weathered and unweathered, cryptocrystalline silica, and expansive clays.

The aim of this work is to determine the potential use of volcanic rocks of rhyolitic and basaltic composition as concrete aggregates.

Samples from outcrops located in different regions in the country were analyzed.

The study focused on their texture, degree of alteration, the presence of glass in the matrix, and other characteristics leading to deleterious behavior. X-ray diffraction was used for the identification of alteration minerals and reaction products.

It was concluded that volcanic rocks, when they are in significant proportions in concrete aggregates, should be previously studied in detail since the presence of unweathered glass, labile and/or alteration minerals may cause deleterious reactions. However, when they have a microcrystalline texture and show incipient alteration, they can be suitably used.

Weathered basaltic rocks develop important argillization processes forming deleterious mineralogical species that contribute to the deterioration of concrete either due to their contribution of ions or their expansion.

KEY WORDS: aggregates – rhyolites - basalts

INTRODUCCIÓN

En Argentina son muy extensos los afloramientos de rocas volcánicas tanto ácidas como básicas y su uso como agregado (piedra partida) es muy frecuente. Se han construido importantes obras tales como los diques Yacyretá, Salto Grande y Ameghino, puentes y caminos. Si bien por sus características físico-mecánicas constituyen un material aceptable para hormigón, la presencia de especies deletéreas tales como vidrio volcánico, sílice criptocristalina y arcillas expansivas lo tornan un material potencialmente deletéreo.

En todos los casos dos factores definen su utilización: cercanía a las obras y afloramientos accesibles, tanto por proximidad a rutas o factibilidad de realizar caminos con bajo costo de mantenimiento. Las canteras en basaltos se abren sobre frentes de coladas, fácilmente minables, tratando de extraer todo el frente rocoso. En canteras de riolitas se define un piso o nivel de cantera, minando bancos de espesores previamente determinados en función del volumen de roca a extraer y estructura de la roca.

Los afloramientos explotados de los basaltos tholeíticos de la Formación Curuzú Cuatiá, sector superior conocido como Miembro Posadas, alcanzan espesores mayores de 100 metros, aunque existen antecedentes que en profundidad son mucho más espesos. El mayor espesor citado (Padula y Mingramm, 1968), en el subsuelo es de 1531 metros. La edad se ubicaría entre el Jurásico Superior y el Cretácico Medio, aceptada por numerosos autores y mencionado por Herbst (1971). Estos basaltos han sido estudiados en detalle ya que fueron usados como agregados o fueron afectados por emplazamientos de grandes obras ingenieriles. Entre los trabajos pueden citarse los de Rimoldi (1963 a, b, 1971, 1972a, 1972b, 1973). Rimoldi *et al.* (1969, 1970), Hayase *et al.* (1975), Cortellezzi *et al.* (1965). Hay varios trabajos que analizan las alteraciones que presentan estas rocas. El más reciente es el de Cortellezzi *et al.* (1998).

Los basaltos de las Prov. de Río Negro y Neuquén son Eoterciarios o más nuevos, agrupados entre el basalto 0 (Lambert, 1950), fechado como Eocenos hasta los basaltos Holocenos (posglaciales) de Turner (1965).

Las riolitas estudiadas, en cambio, están ubicadas en yacimientos de Río Negro y Chubut, abiertas en afloramientos de la Fm Sierra Colorada (Stipanovic, 1967). Han sido descriptas en trabajos petrológicos, mineralógicos y yacimientos por numerosos autores y citados en Geología Regional Argentina (2002).

En el presente trabajo se estudiaron más de 30 yacimientos de diferentes provincias de Argentina, utilizando los métodos físicos y químicos normalizados, donde se observó un comportamiento diferencial. Se encontraron rocas aptas y otras altamente reactivas, aún dentro de un mismo yacimiento. (Maiza *et al.* 1995 y Marfil *et al.* 1998). El estudio petrográfico resultó de gran utilidad para establecer su potencial reactividad (Marfil y Maiza 1996; Maiza y Marfil 1998).

Además, fragmentos de estas rocas participan con porcentajes variables en los agregados gruesos (canto rodado), y finos (arenas).

MATERIALES Y METODOS

Se estudiaron riolitas y tobas de 13 localidades de las Prov. de Río Negro y Chubut y 17 basaltos (13 de la Prov. de Río Negro, 1 de San Luis, 1 de Córdoba, 1 de Misiones y 1 de Mendoza).

Para determinar la composición petrográfica, textura y alteraciones, se trabajó con un microscopio de polarización Olympus, trinocular, con cámara de video de alta resolución y programas computarizados para tratamiento de imágenes y cuantificaciones. Para el estudio de los minerales de alteración, se trabajó con un difractómetro Rigaku D-max IIIC con radiación de Cu K α y monocromador de grafito, con 35 KV y 15 mA, para muestras naturales, expandidas con etilen glicol y calcinadas.

Los resultados se compararon con los obtenidos en trabajos previos (Maiza *et al. op. cit.* y Marfil *et al. op. cit.*; Maiza y Marfil, 2003) por los métodos de ensayo normalizados: ensayo acelerado (ASTM C9 P-214) y método químico (ASTM C-289).

RESULTADOS OBTENIDOS

Se analizó la composición mineralógica, textura, relación fenocristales/pasta, tamaño de los microcristales, tipos de alteración y presencia de vidrio volcánico.

Estos se compararon con la sílice disuelta determinada según lo establecido en la norma ASTM C-289. En un trabajo previo, Marfil *et al.* (1995) concluyeron si los valores de sílice disuelta son menores a 10 mg el material puede considerarse inocuo, entre 10 y 20 es dudoso y deben realizarse ensayos complementarios que permitan calificar el material y si supera los 20 mg se considera deletéreo.

Los resultados obtenidos tanto con la petrografía como en el método químico, son comparables con el comportamiento determinado en el ensayo acelerado de las barras de mortero (ASTM C9 P 214), para la mayoría de las muestras ensayadas. (Marfil *et al. op cit.*).

Riolitas

Las pastas son predominantemente vítreas, a veces desarrollan texturas perlíticas, que consisten en fracturas concéntricas las que le otorgan a la roca importante permeabilidad y por lo tanto mayor susceptibilidad a ser meteorizada y luego lixiviada. El proceso de desvitrificación transforma a las pastas vítreas en agregados felsíticos criptocristalinos compuestos principalmente de cuarzo o tridimita y calcedonia, abundantes minerales arcillosos, otros silicatos y algunos óxidos principalmente de hierro.

Los principales procesos de alteración que se desarrollan son: sericitización, carbonatación, silicificación, argilización y ceolitización, los que influyen notablemente en la liberación de sílice y elementos alcalinos.

La riolita de Florentino Ameghino, (de comportamiento inocuo) tiene textura microcristalina. No tiene vidrio. (La expansión en las barras fue de 0,081 % a los 28 días Maiza y Marfil *op cit.*). La

riolita de Sierra Chata negra fue de las más reactivas tanto por método químico como en las barras de mortero. En este último dio una expansión de 0,259 a los 28 días. La pasta tiene abundante vidrio y presenta importantes procesos de argilización, ceolitización y silicificación

La textura de la toba riolítica (toba 2 Paileman), calificada como dudosa por la sílice disuelta en el método de ensayo químico, debe considerarse potencialmente reactiva por sus características petrográficas ya que tiene vidrio volcánico y se han desarrollado procesos de desvitrificación con formación de arcillas del tipo montmorillonita.

En la figura 1a se muestra la composición mineralógica y la textura de la riolita de Florentino Ameghino que tuvo buen comportamiento con los métodos de ensayo físicos y químicos normalizados utilizados y se la compara con la de Cantera 60 (Figura 1b) que resultó potencialmente deletérea. La riolita de Florentino Ameghino está constituida por fenocristales de cuarzo, sanidina, plagioclasa subordinada y biotita, contenidos en una pasta microcristalina de cuarzo fino, sacaroide y feldespatos. La riolita de Cantera 60, está formada por fenocristales de cuarzo, feldespatos (sanidina dominante y oligoclasa), tablillas de biotita y minerales opacos, contenidos en una pasta hialina fluidal con escasa desvitrificación. Los feldespatos están levemente argilizados.

Basaltos

Las rocas estudiadas correspondientes a las provincias de Córdoba, San Luis, Neuquén y Mendoza están constituidas por abundantes fenocristales de olivino y plagioclasa en una pasta totalmente cristalina constituida por piroxenos, feldespatos. En el basalto de Mendoza, además hay olivino en la pasta. No se identificó vidrio volcánico. El comportamiento de estas rocas definido con el método de ensayo químico y el de las barras de mortero fue inocuo.

De las 13 muestras estudiadas de la Prov. de Río Negro sólo tres están frescas, no contienen vidrio volcánico y es coincidente con las que no dieron expansiones deletéreas en los ensayos físicos. El resto tiene importantes cantidades de vidrio volcánico fresco y/o alterado a minerales arcillosos. Algunas además presentan un proceso de silicificación epigenético.

La figura 1c corresponde al basalto de El Cuy donde puede observarse tablillas de plagioclasa (labradorita), sin orientación, levemente alteradas, contenidas en una pasta microcristalina a intersertal, con abundante vidrio parcialmente desvitrificado y escasos fenocristales de olivino asociados a una masa de material desvitrificado con abundante arcilla y vidrio relíctico con procesos de desvitrificación importante. Esta roca dio expansiones superiores a los límites establecidos en los ensayos normalizados y fue calificada como potencialmente deletérea por el método químico. En la figura 1d se muestra el basalto de Bajada del Sauce que presenta una textura totalmente cristalina, con tablillas de plagioclasa que encierran en los espacios intercristalinos a cristales aislados o granos de olivino levemente alterados, desarrollando una textura intergranular que en sectores puede llegar a ser ofítica. La calificación por los métodos convencionales utilizados fue apta.

CONSIDERACIONES

Las riolitas cuyas edades son mesozoicas o mayores han sufrido procesos de desvitrificación natural y han disminuido considerablemente su potencialidad a desarrollar reacciones deletéreas cuando son utilizadas como agregado en hormigón.

La mayoría de las muestras de basalto de la Patagonia analizadas, fueron obtenidas de coladas cuya edad es Plioceno o más jóvenes. Los procesos exógenos que han actuado sobre ellos, alteraron principalmente al vidrio volcánico, desarrollando procesos de argilización, con la cristalización de montmorillonita y ceolitas. Además estos procesos liberan, por exceso, la sílice al cristalizar los nuevos minerales. Las arcilla quedan retenidas en los espacios intergranulares o vacíos (amígdalas y

sectores vesiculares característicos de estas rocas) y la sílice bajo la forma de cristobalita u ópalo, precipita en los niveles inferiores de las coladas o en sectores permeables de las formaciones lávicas desarrollados principalmente por la incorporación de agua del sustrato o precolación de agua meteórica.

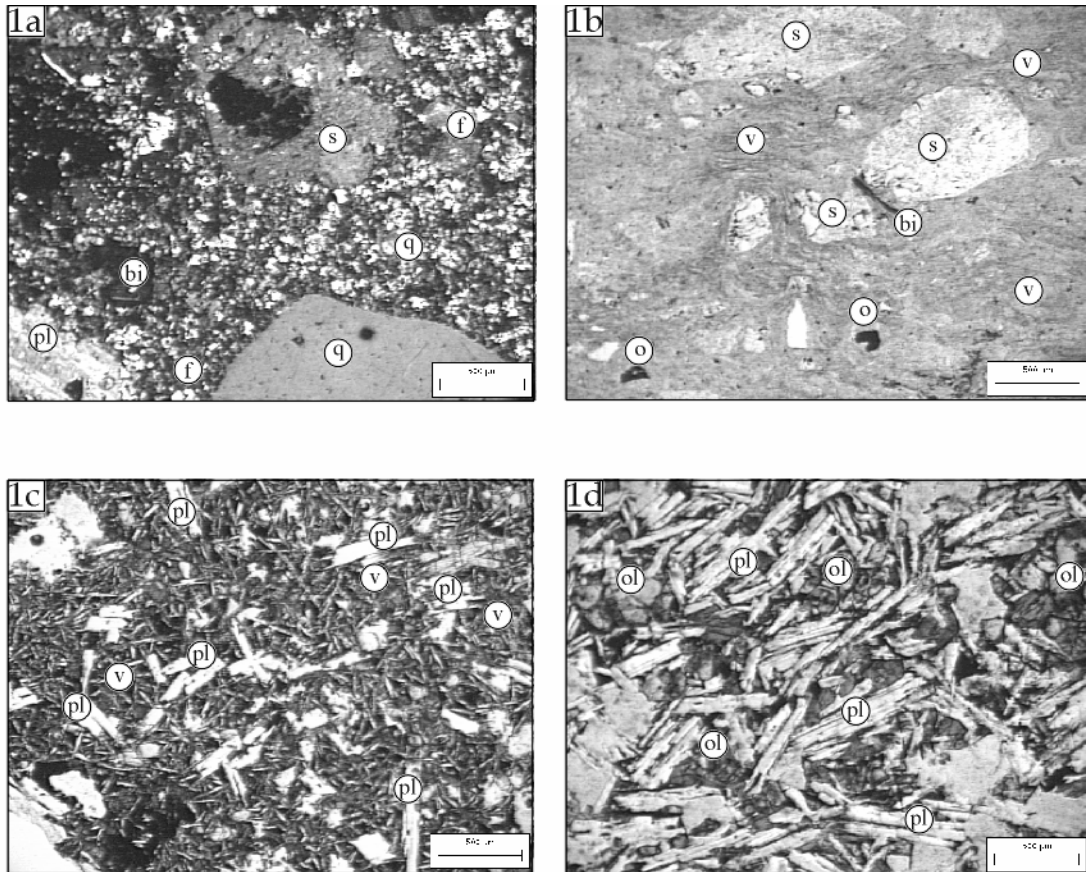


Fig. 1a: Riolita Florentino Ameghino. Fenocristales de cuarzo (q), sanidina (s), plagioclase (pl) y biotita (bi) contenidos en una pasta microgranular de cuarzo y feldespato.

Fig. 1b: Riolita Cantera 60. Fenocristales subhedrales de sanidina (s) argilizados con bordes corroídos, cuarzo (q), biotita (bi) y minerales opacos (o) inmersos en una pasta hialina fluidal con abundante vidrio volcánico (v) fresco.

Fig. 1c: Basalto El Cuy. Tablillas de plagioclase (pl) (labradorita) con escaso olivino granular microcristalino de muy pequeño tamaño, desferrizado y abundante vidrio volcánico (v). En algunos sectores el vidrio se ha desvitrificado originando abundantes minerales de alteración, principalmente montmorillonita, ceolitas y sílice criptocristalina.

Fig. 1d: Basalto Bajada del Sauce. Tablillas de plagioclase (pl) suborientadas cuyos interespacios están ocupados por granos de olivino (ol). No hay vidrio volcánico. La alteración es incipiente, sólo se reconoce escasa sericitización y carbonatación asociado a la plagioclase y leve desferrización del olivino

Los basaltos del norte de Argentina, especialmente de la Mesopotamia, son más antiguos (Jurásico-Cretácico). El vidrio volcánico relictico es muy escaso, en su mayoría dio lugar a la formación de

esmeclitas, celadonita y sílice criptocristalina que cristalizó in situ o migró dando lugar a la formación de geodas, venillas y otras formas de yacencia. Las plagioclasas por lo común se alteran parcialmente a illita y calcita, rara vez a caolín y los mafitos a cloritas y óxidos e hidróxidos de hierro. Un banco lávico que puede alcanzar a cientos de metros de potencia, puede ser muy heterogéneo y presentar sectores muy reactivos (la base o piso), debido a sílice lábil o arcillas con capacidad de intercambio catiónico o que colapsa en el medio químico, a sectores totalmente inocuos (centro) ya que todo el material pétreo es cristalino y no queda vidrio original, o a sectores afectados por procesos de alteración en desarrollo (sector superficial o subsuperficial).

Por otro lado las rocas riolíticas tienen amplia distribución en el tiempo desde el Paleozoico hasta la actualidad. Las riolitas más jóvenes (Terciario a la actualidad), tienen importantes cantidades de vidrio volcánico en las pastas, llegando a encontrarse pastas totalmente vítreas. Las más antiguas se presentan con diferentes grados de desvitrificación características definidas por su textura, estructura y fracturamiento. Puede decirse que las rocas con vidrio relíctico serán reactivas. Los procesos de alteración desarrollan argilización caracterizadas por illita, caolín o ceolitas con liberación de sílice que aparecerá como cuarzo con textura en mosaico, sacaroide, si las rocas son antiguas y como sílice criptocristalina u ópalo si son más modernas.

Dentro de la misma formación geológica aparecen diferentes tipos de riolitas que serán consecuencia de su posición en el ambiente geológico, las condiciones de emplazamiento y principalmente de enfriamiento. Por ejemplo en el Valle del Río Chubut, las riolitas usadas en la construcción del Dique Florentino Ameghino, son totalmente cristalinas y por lo tanto tienen buen comportamiento en el hormigón. Otros afloramientos como Cantera 60, tienen texturas con vidrio relíctico y en las cercanías a Villegas el vidrio está alterado definiendo una textura microfelsítica. Estas últimas dos rocas cuyos afloramientos distan no más de 25 Km y pertenecen al mismo vulcanismo, son potencialmente deletéreas, pero con características muy diferentes. Las primeras son claramente reactivas, mientras que las últimas pueden definirse como de reactividad dudosa.

De las rocas estudiadas, las cristalinas y con pastas de grano grueso recrystalizadas, resultaron aptas para ser utilizadas como agregado en hormigón (Riolitas: Dique Ameghino y Villegas. Basaltos: San Luis, Córdoba, Mendoza, Neuquén, Comallo (poroso y compacto) y Aguada de Guerra. Estos dos últimos de la provincia de Río Negro.

Las muestras que desarrollaron procesos deletéreos en los ensayos normalizados corresponden a rocas con pastas vítreas, con vidrio relíctico, que han sufrido un proceso de silicificación y contienen sílice microcristalina y/o calcedonia. El resto de las pastas están constituidas por minerales arcillosos. Estas son: Las riolitas de Cantera 60; Sierra Chata negra; Sierra Chata roja y Cerro Alto. Y los basaltos de Misiones y el resto de los basaltos de la Prov. de Río Negro. Las rocas que se califican como deletéreas muy cerca de los límites establecidos por las normas son aquellas que si bien aún conservan vidrio volcánico relíctico, gran parte de la pasta se encuentra recrystalizada.

CONCLUSIONES

- Los basaltos y riolitas son rocas aptas para ser usadas como agregado en hormigón cuando sus pastas se presentan totalmente recrystalizadas.
- Si contienen vidrio volcánico fresco o alterado a minerales arcillosos aportarán sílice al medio y elementos alcalinos los que provocarán reacciones deletéreas en el hormigón.
- Los procesos de alteración posteriores, tales como silicificación, con cristalización de minerales como calcedonia o cuarzo fino las tornará potencialmente reactivas frente a la RAS.
- El estudio petrográfico de detalle constituye el primer paso para decidir sobre la aptitud de este tipo de rocas para ser utilizadas como agregados para hormigón. Si se identifican minerales deletéreos es aconsejable realizar ensayos complementarios normalizados (tales como el método

químico y barras de mortero).

- Deben estudiarse los yacimientos en su conjunto (y no una muestra) tanto en sentido vertical como arealmente y evaluar su potencial comportamiento como agregado, en base a la complejidad litológica del cuerpo a explotar.
- Rocas de composición litológicamente semejante a éstas forman parte de muchos agregados naturales en porcentajes variables (arenas y gravas). Se considera importante evaluar la influencia de las rocas volcánicas en la reactividad alcalina potencial cuando constituyen agregados para hormigón, aún en porcentajes no significativos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNS, CONICET y CIC de la Prov. de Bs. As. por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la colaboración en la obtención y compaginación de las fotomicrografías.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS, CORDOBA, 2002. Geología Regional Argentina. Vol. II. Córdoba.
- ASTM C-9-P214, 1990. Standard test method for potential alkali reactivity of cement – aggregate combinations (accelerated - method). Books of Standards 04.02 p. 739.
- ASTM C-289, 1995. Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates. (Chemical method). Books of Standards 04.02 p. 159.
- CORTELEZZI, C. Y V. GOMEZ, 1965. Los basaltos tholeíticos de la perforación Nogoyá (provincia de Entre Ríos). Aplicación e métodos químicos para determinación de FeO en minerales y rocas. Acta Geol. Lilloana, S. M. de Tucumán. 6: 87-98.
- CORTELEZZI, C.; R. PAVLICEVIC Y P. J. MAIZA, 1998. Interestratificado regular montmorillonita-illita en basaltos de la Sierra Santa victoria, Prov. de Misiones, Argentina. IV Reunión de Mineralogía y Metalogenia. MINMET'98. 51-55. Bahía Blanca.
- HAYASE, K.; J. A. DRISTAS Y H. V. RIMOLDI, 1975. Presencia de saponita rica en hierro asociada con celadonita, en basaltos de Ayuí – Dique Salto Grande. An. Quint. Cong. Panam. Mec. de Suel. e Ing. de Fund. Bs. As. 3: 51-71.
- HERBST, R., 1971. Esquema estratigráfico de la provincia de Corrientes. República Argentina. Rev. Asoc. Geol. Arg. Bs. As. 26 (2): 221-243.
- LAMBERT, L., 1956. Descripción geológica de la Hoja 35b. Zapala. Direc. Nac. de Minería. Bol. 83.
- MAIZA P. J.; S. A. MARFIL; O. R. BATIC Y J. D. SOTA, 1995. Estudio comparativo de rocas basálticas frente a la RAS. XII Reunión de la AATH. Memorias. La Plata. 127 - 140.
- MAIZA, P. J. Y S. A. MARFIL, 1998. Comportamiento de rocas basálticas en hormigón, frente a la reacción álcali-sílice. II Cong. Uruguayo de Geol. Actas. 134-137. Punta del Este. Uruguay.
- MAIZA, P. J. Y S. A. MARFIL, 2003. Rocas riolíticas en agregados para concreto. Su factibilidad de uso basada en la petrografía. 10º Congreso Geológico Chileno. Octubre de 2003. Concepción. Chile. Publicado en CD (7 pag).
- MARFIL, S. A. Y MAIZA, P. J., 1996. Características petrográfico-mineralógicas de la alteración de basaltos de la Meseta de Somón Curá, Prov. de Río Negro. III Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Public. N° 5. INREMI. Actas: 287-293. La Plata.
- MARFIL, S., MAIZA, P., BATIC, O. Y SOTA, J., 1995. La sílice disuelta como parámetro para calificar agregados en forma preliminar frente a la reactividad alcalina potencial. XII Reunión de la AATH. Memorias. La Plata. 173-178.

- MARFIL, S. A., P. J. MAIZA, A. L. BENGOCHEA, J. D. SOTA AND O. R. BATIC, 1998. Relationship between SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks. Cement and Concrete Research. USA. Vol. 28. N° 2, pp. 189-196.
- PADULA Y MINGRAMM, 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico-sedimentaria del Triásico en el subsuelo de la llanura Chaco-Paranense. Act. Terc. Jorn. Geol. Arg. Bs. As. I: 291-331.
- RIMOLDI, H. V. 1963a. Aprovechamiento del río Uruguay en la zona de Salto Grande. Estudio geológico-geotécnico para la presa de compensación proyectada en el Paso Hervidero (provincia Entre Ríos). An. Prim. Jorn. Geol. Arg. Bs. As. 2: 287-310.
- RIMOLDI, H. V., 1963b. Aprovechamiento del río Uruguay en la zona de Salto Grande. Acerca de las condiciones geológicas del lugar de emplazamiento de la presa de compensación proyectada en San Antonio (Salto Chico). Bol. Acad. Nac. Cienc. Córdoba. 43 (2, 3 y 4): 267-288.
- RIMOLDI, H. V., 1971. Puente internacional sobre el río Uruguay Paysandú-Colón. Estudio geológico-geotécnico. Tecnoconsult S.A. Com. Tecn.. Paysandú – Colón. COTEPAYCO, Bs. As. Informe Inédito.
- RIMOLDI, H. V., 1972a. Aprovechamiento hidroeléctrico Piray-Guazú. Estudio geológico – geotécnico. Inconas S.C. Ministerio Econ. Y O. P. Dir. Gral. Electric. Prov. de Misiones. Bs. As. Informe Inédito.
- RIMOLDI, H. V., 1972b. Sondeos de reconocimiento en las áreas de Yabebiry, Hábeas, Punta Ingá y Puerto Bosetti. Tecnoconsult. S. A. Subsec. Rec. Híd. Dir. Nac. Hidromet. Planeam. Proyec. Grupo Alto Paraná y Cuencas Misioneras. Bs. As. Informe Inédito.
- RIMOLDI, H. V., 1973. Resultados de los sondeos de reconocimiento en las áreas de Hábeas (Isla Pindo-í), Punta Iguá, Puerto N° 12 y Paranambú. Informe geológico-geotécnico. Tecnoconsult S. A. Subs. Rec. Híd. Dir. Nac. Hidromt., Planeam. y Proy. Grupo Alto Paraná y Cuencas Misioneras, Bs. As. Informe Inédito.
- RIMOLDI, H. V. Y P. P. BEHRENDT, 1969. Puente internacional sobre el río Uruguay Puerto Unzué-Fray Bentos. Estudio geológico-geotécnico. Tecnoconsult. S. A. Hidrosud S. A. Y Tudos Eng. Co. Sn. Francisco COMPAU Bs. As. Informe Inédito.
- RIMOLDI, H. V., N. DI GIORLAMO Y S. J. TREVISAN, 1970. Complejo carretero ferroviario Zárate – brazo Largo – Puente sobre el río Paraná Guazú y viaductos de acceso de margen izquierda. Estudio de suelos. Estudio Geotécnico Atterberg y Tecnoconsult. S. A. Sec. de Obras y Serv. Públ. Dir. Nac. Vial. Bs. As. Informe Inédito.
- STIPANICIC, P. N., 1967. Consideraciones sobre edades de algunas fases magmáticas del Neopaleozoico y Mesozoico. Rev. Asoc. Geol. Arg. Bs. As. 22 (2): 101-133.
- TURNER, J. C., 1965. Estratigrafía de Aluminé y adyacencias. Rev. Asoc. Geol. Arg. XX, N° 2: 153-184.